

## РАСЧЕТ МИКРОНАПРЯЖЕНИЙ В МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

При любом напряженном состоянии макрообъема зерна в поликристалле, в том числе и квазиизотропном, вследствие анизотропии их упругих свойств находятся в условиях сложного напряженного состояния, отличающегося от макроскопического. Микронапряжения зависят от приложенных макроскопических напряжений, эффективных и локальных значений упругих констант. Для моделирования упругопластических свойств поликристаллов представляют интерес тензоры микронапряжений в локальных кристаллографических осях при различной ориентации внешней нагрузки.

На начальной стадии нагружения все зерна деформируются упруго, и связь между напряжениями и деформациями в них подчиняется обобщенному закону Гука. Напряжения в зерне, отнесенные к кристаллографическим осям, найдены из решения Эшелби о деформации зерна кубической симметрии, помещенного в изотропную матрицу с эффективными свойствами на основе метода моделирования текстуры малоуглеродистой стали с помощью дискретного набора идеальных ориентировок.

В качестве модели однофазного поликристалла рассмотрена неоднородная среда с ячейками полиэдрической формы, которым приписаны одинаковые характеристики кристалла с кубической симметрией. Ориентация кристаллографических осей в каждой ячейке считается случайной и в общем случае задается направляющими косинусами. Анизотропия свойств тесно связана с преимущественной ориентацией кристаллографических осей в поликристаллическом образце, т.е. текстурой. Связь между кристаллографической текстурой и анизотропией физико-механических свойств устанавливают параметры деформационной анизотропии. Совпадение параметров деформационной анизотропии определяет эквивалентную модель.

Простейшей дискретной моделью, удовлетворяющей данному условию эквивалентности, является семикомпонентная модель, которая получается добавлением к ориентировке  $(001)[100]$  ориентировок, образуемых ее поворотом вокруг каждой из осей четвертого порядка на угол 45 градусов против хода часовой стрелки, с дальнейшими поворотами кристалла таким образом, чтобы оси третьего порядка совпадали с направлением одной из осей лабораторной системы координат. Для результирующих поворотов методами линейной алгебры найдены матрицы преобразования системы координат, как произведения матриц двух последовательных поворотов. Из аналитического представления ориентации кристаллографических осей кристаллитов по отношению к лабораторным осям, связанным определенным образом с анизотропным образцом, определены объемные доли текстурных компонент эквивалентной многокомпонентной базовой текстуры, имеющей те же параметры деформационной анизотропии, что и реальный образец. Параметры деформационной анизотропии образца малоуглеродистой стали были получены методом, основанном на непо-

средственным расчете по количественному анализу текстуры поликристаллов из прямого физического эксперимента.

Найденные значения компонент тензора микронапряжений позволяют рассчитывать касательные напряжения в действующих системах скольжения и моделировать начало пластической деформации в зернах малоуглеродистой стали. В ОЦК-металлах деформация происходит по 12 основным системам скольжения —  $\{110\}\langle 111 \rangle$ , в ГЦК-металлах по системам скольжения —  $\{111\}\langle 110 \rangle$ . Согласно закону Шмида в упругодеформированном поликристалле при возрастании нагрузки пластическая деформация начнется в тех зернах, в которых касательные напряжения в одной или нескольких из активных систем скольжения достигнут критического значения.

В итоге семь ориентировок с 12 системами скольжения в каждой задают 84 системы скольжения, распределенные по всему объему поликристаллического образца.

Рассматривая различные виды макроскопического нагружения, можно получить соответствующие предельные напряжения при заданных значениях критического касательного напряжения, найти ориентировки зерен малоуглеродистой стали, вовлеченные в пластическую деформацию, и их долю. Если доля вовлеченных в пластическую деформацию зерен более 0,67, то образуется непрерывный кластер из пластически деформированных зерен. При всестороннем сжатии все системы скольжения заблокированы, т.е. в поликристалле нет пластически деформированных зерен.

Для иллюстрации рассмотрено плоское напряженное состояние. При данном макроскопическом нагружении по результатам расчета выделены системы скольжения ориентировок с минимальным фактором ориентировок, а также заблокированные системы скольжения.

По результатам расчетов можно указать, по каким системам скольжения в зернах какой ориентации начнется микропластическая деформация.

Влияние упругих свойств материала сказывается на порядке активации систем скольжения и на абсолютном значении фактора ориентировки. Минимальные значения фактора ориентировок при одноосном растяжении лежат между значениями, вычисленными в рамках предельных моделей Закса и Тейлора, рассматривающих однородность напряжений и деформаций.

Предлагаемый подход может быть обобщен на случай дискретной модели поликристалла с большим числом идеальных ориентировок и участием других систем скольжения в микропластической деформации.